

音響キャビテーションの水深、気泡核依存性

○中嶋亮太, 李 香福, 崔 博坤(明大理工)

1 はじめに

音響キャビテーションの発生は、セル内の音圧と気泡核に大きく影響を受ける。生じた多数の気泡は定在波の腹にトラップされ、セル内に縞状に分布する。しかし、セル内の定在波はセルの振動を含んだ複雑な 3 次元モードであるため、この縞の間隔は水中音速を周波数で割って求めた波長 λ の 1/2 倍には一致しない。このような複雑な音場でキャビテーションの発生条件を明確にするため、周波数 27 kHz で水深を変化させながら、音圧分布を調べた。超音波反応場への水深による影響は報告^[1]されているが、波長程度のスケールでの水深の影響は調べられていない。水深を細かく変えたときの音圧とソノケミルミネセンスとの関係を調べた。また、セル内に気泡核の素となる沸騰石を入れると気泡運動に変化が観察された。

2 実験

直径 70mm、高さ 120mm の円筒セルにセルの底面から超音波を照射した。音圧測定と発光写真の撮影での各水深での超音波の周波数は Fig.1 の発光写真の下に示した。

水深変化による音圧分布の測定では、気泡が生じるのを避けるため、セルに脱気したイオン交換水入れ、1W 以下の低電気出力の超音波を照射し、水中に 6mm 径の PVDF 振動子 (厚さ 0.1mm) を入れて音圧を調べた。水深は 14~83 mm まで 14 mm ($\lambda/4$) おきに測定を行ない、セル下部の最も振動子に近い部分を水深 0 mm として測定を行った。また、各水深でルミノール水溶液に超音波を照射し、発光写真をデジタルカメラ (Canon EOS6D) で撮影した。超音波は印過電圧 150mV で照射し、その時の各水深での電気出力は Fig.1 の発光写真の下に示した値となった。

気泡核依存性では、セルに水深 28mm までルミノール水溶液を入れ、周波数 27.66kHz の超音波を照射し、沸騰石が有る場合と無い場合で発光写真の撮影と気泡運動を観察した。

3 結果と議論

3.1 水深依存性

各水深での音圧分布と発光写真を Fig.1 に示す。各水深での周波数は発光写真の下に示した。水深が $n\lambda/2$ の場合 (28,56,83mm) は振動子付近で音圧が節になるのに対し、 $(2n-1)\lambda/4$ の場合 (14,42,69mm) は振動子付近で音圧が腹となり振動子から遠ざかるにつれて音圧は減少した。

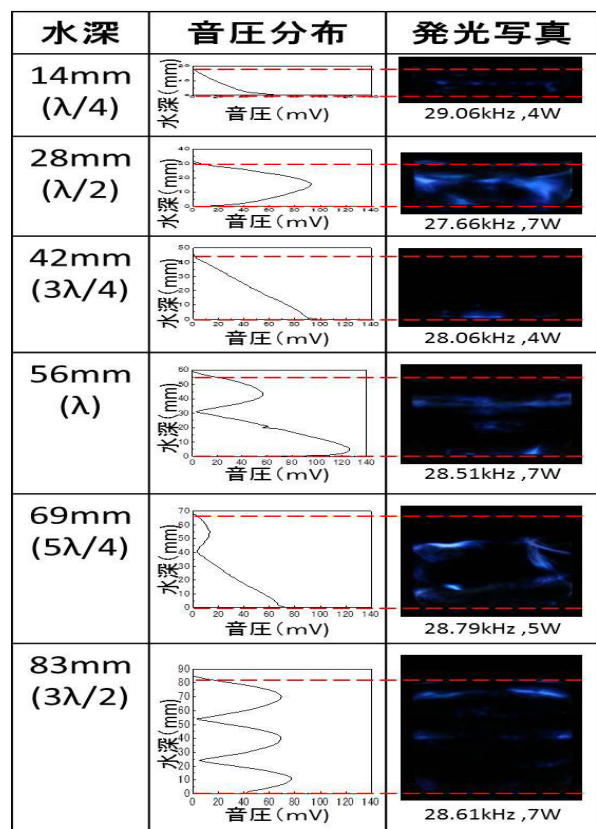


Fig.1 Acoustic pressure distributions and SCL images for each water depth. Electrical power and frequency is denoted below the images.

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_x}\right)^2 + (u_{nm}/a)^2 \quad (1)$$

式 1 は円筒容器内を x 軸方向 (中心軸) に超音波が伝搬する場合の波数の関係式である。 λ は水中音速を周波数で割って求められる波長で、 λ_x は中心軸方向、 u_{nm}/a は動径方向と半径方向の波数を表す。音圧測定では中心軸上の音圧を測定しているため、求められる波

Dependence of water depth and the bubble nuclei on acoustic cavitation

By Ryota Nakajima, Hyang-Bok Lee, Pak-Kon Choi (Meiji University)

長は λ_x に相当する。水深 28,83mm では λ_x と λ は近い値を示した。一方、56mm では $\lambda_x=76\text{mm}$ 、 $\lambda=52.6\text{mm}$ となり、値は大きく異なった。この場合には、式 1 より、 $n=0$ 、 $m=1$ のモードが生じると考えられる。

水深が $(2n-1) \lambda/4$ の場合よりも $n \lambda/2$ の場合のときの方が相対的な音圧が高く、同印加電圧 150mV での電気出力も高い値を示した。発光写真は音圧が比較的高い音圧の腹付近で発光が見られ、水深 28mm で最も発光が強く見られた。

3.2 気泡核依存性

沸騰石の有無による発光写真を Fig.2 に示す。沸騰石の無い場合、低電気出力 3W の場合にはセル中央の音圧の腹にストリーマ気泡が発生し発光が見られた。11W、23W と電気出力を増加させるとセル中央ではなく振動子付近と気液界面の音圧の節で発光が生じた。このときは、音圧の腹の位置から節の位置へ移動する発光しないクラスター気泡と節の位置に生じる発光するクラゲ状気泡が観察された。また気液界面ではクラスター気泡の浮上やクラゲ状気泡により水面の盛り上がりが多々観察された。

一方、沸騰石の有る場合は 3W で音圧の腹に生じたストリーマ気泡が電気出力の増加に伴い節側に移動するが、無い場合と比較して腹側に近い場所に存在し続ける。沸騰石が有る場合には電気出力を増加させてもクラスター気泡が生じることはなく、気液界面での水面の盛り上がりはほとんどなかった。

沸騰石が有る場合は、無い場合と比較して腹側で発光が生じることから、第 1 ビヤークネス力を受ける気泡のサイズ^[2]が小さいと考えられる。また、クラスター気泡が発生しないことから第 2 ビヤークネス力の要因である気泡間の相互作用が減少したと考えられる。

Fig.3 は周波数 27 k Hz、電気出力 40W の超音波を照射し、(a)沸騰石を入れる前、(b) 沸騰石が入っているとき、(c)沸騰石を抜いた後、の気泡写真である。(a)では水面付近でクラゲ状気泡がみられ、セル中央の音圧の腹では気泡は見られない。(b)ではセルの中央の音圧の腹の部分に気泡が生じている。(c)は沸騰石を抜いたにもかかわらず、(b)と同様に気泡が腹の部分に集まっている。沸騰石をセルから抜

いても気泡の運動が変わらなかったところから沸騰石の有無によりセル内の音圧が変化するとは考え難い。

以上の結果から沸騰石の有無により気泡運動の変化が生じる原因は、沸騰石表面の細かい凹凸が核となって生じる気泡の生成過程やサイズの変化によるものだと考えられる。






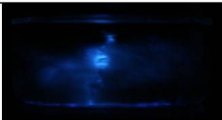
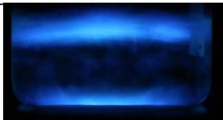
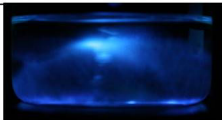
電気出力 (W)	沸騰石無	沸騰石有
0		
3		
11		
23		

Fig.2 The power dependence of SCL with or without boiling stone at 27.66 k Hz with the depth of 28 mm.

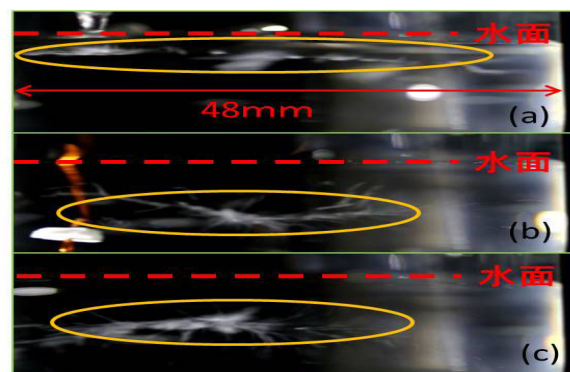


Fig.3 Movement of acoustic bubble with or without boiling stone at 27.66 k Hz and 40 W with the depth of 28 mm.

参考文献

- [1] Y. Asakura et al. Ultrason. Sonochem. **15** (2008) 244-250
- [2] T.J. Matula, S.M. Cordry, R.A. Roy, and L.A. Crum. J. Acoust. Soc. Am. **102** (1997) 1522-1527